

テレプレゼンスアバターロボットの自律的な共同注視による 他者の願望認知

Automatic Joint Attention Generation between Local and Remote Persons through Telepresence Robot's Behavior

生駒 響^{1*} 竹内 勇剛¹
Hibiki Ikoma¹ Yugo Takeuchi¹

¹ 静岡大学

¹ Shizuoka University

Abstract: COVID-19 の影響や技術の発達などから、オンライン会議のような遠隔地間コミュニケーションの機会が多く見られ始めている。それに伴い、遠隔地間においても同じ場所を共有しているように感じさせる技術「テレプレゼンスアバターロボット」が注目されている。テレプレゼンスアバターロボットは、カメラの動作性や話者へのアイコンタクトなどの技術を取り入れることで、会話の臨場感を生成しコミュニケーションをサポートするアプローチを取っている。しかしそれらのアプローチでは、ロボットを操作する人物が遠隔地にいる人間の願望を認知できず、対面における円滑なコミュニケーションが実現されない。これに対して本研究では、ロボットに人間が無意識に行う視線追従動作を自律動作として実装し、ロボット操作者がこの自律動作によって遠隔地にいる人間の願望を認知するか検証した。2回の実験の結果、自律動作によってロボット操作者による願望の認知が行われた可能性が示され、コミュニケーションを円滑にするうえで本アプローチが有用な手法である可能性が示唆された。

1 はじめに

インターネット技術の発展やスマートフォンの普及に伴い、遠隔地間でのコミュニケーションは我々の日常に深く浸透している。最近では COVID-19 の影響もあり、オンライン会議やオンライン飲み会のように遠隔地間コミュニケーションシステムの利用機会はますます多くなってきている。これに伴い、ソニー開発の「窓」や IPresence 開発の「temi」のような、離れている人間の情報を補完することで臨場感を生成する技術、テレプレゼンスシステムが注目されてきている [1]。

その中でも、図 1 のように操作する人物 (RO¹) による入力を遠隔地にあるロボット (ROR¹) に適用することで、ROR を RO のアバターとして扱うアプローチをテレプレゼンスアバターロボット (テレグジスタンス) と呼ぶ [2]。このアプローチでは ROR を RO のアバターとすることで、ROR を通して遠隔地空間を共有する人物 (LW¹) に RO の情報を伝達することで、RO と LW に臨場感を与える。

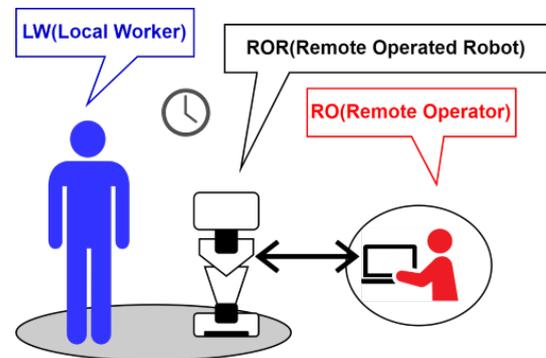


図 1: ROR,RO,LW の定義

しかし、テレプレゼンスアバターロボットにおいて RO が LW と円滑なコミュニケーションを行うことは難しい。これは、LW の視線、身体動作や LW のいる環境の情報を遠隔会話システムに通す際に、それらの情報の減衰または情報伝達の遅延が発生することが原因としてあげられる [3][4]。対面であれば相手の視線を追うなどをすることで瞬時に相手が何に注視しているのかを確認し、相手が何をしたいのか (以降はこれを「願望」と呼称する) を認知できる。しかし、テレプレ

*連絡先： 静岡大学情報学部
〒432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1
E-mail: ikoma.hibiki.19@shizuoka.ac.jp

¹本稿では「RO(Remote Operator)」「LW(Local Worker)」「ROR(Remote Operated Robot)」と呼称する

ゼンスアバターロボットでは情報の阻害によって LW と遠隔地の環境 (LW のいる環境) との関係性を意識しにくく, RO が LW の願望を認知するのが難しい. そのため, 結果として RO と LW のコミュニケーションが滞ってしまう. これに対して館ら (2012) のように, 操作伝達の遅延を減らす, ROR の動作可能箇所を増やす, などの手法が取り入れられているが [5], 未だに LW の願望を RO が認知する精度での情報交換は実現していない.

そこで本研究では視線追従動作による共同注視という人間の動作に注目し, これをシステムに自律的に行わせることで, RO に LW が視線を向けている対象を確認させ, LW の願望を認知させるというアプローチを提案する (図 2). 視線追従動作による共同注視とは人間が対面でのコミュニケーションにおいて無意識的に行う動作であり, この動作によって他者と同じ対象を注視することで, 人間は他者がその対象を注視していることを認識して他者の願望を認知することが出来る [6][7]. そのため, テレプレゼンスアバターロボットにおいても, 同様に視線追従動作を発生させた場合, 遠隔地にいるはずの LW の願望を RO が認知するのではないかと予想する.

この際, 対面において視線追従動作は動作する人物が無意識のうちに発生させるため, テレプレゼンスアバターロボットでは RO の能動的行為とは別に, システムによる自律動作で視線追従動作を実装する. このアプローチであれば, 従来の研究のように遠隔会話システムにおける情報伝達の精度を気にせずに RO は LW と環境を共有できるため, RO と LW の円滑なコミュニケーションの達成が期待される.

共同注視をシステムが自律的に行うことで RO に LW の願望を認知させるアプローチが有用であるかを検討する必要がある. そのために, 自律的に LW の視線を追従するシステムを ROR に実装し, システムによる LW と RO の共同注視が RO による LW の願望の認知に寄与する可能性を実験にて検証した. RO が LW の願望を認知しているのかを観測することは難しいため, 本検証では LW の願望を認知することで LW の特定の意図を推定できる実験設定を行い, RO が LW の意図を推定した振る舞いを行うか観測した. また, RO による LW の願望の認知が行われた場合, LW の願望を認知することで RO と LW が環境を共有し, それによって没入感が向上したのかという点についても同時に検証を行った. この没入感の観測は, 本研究課題からは外れているが, 本研究における RO による LW の願望の認知がもたらす, テレプレゼンスシステムにおける波及効果を考察するうえで有用である.

2 関連研究

2.1 共同注視による他者の願望の認知

第 1 章にて前述したように, 他者の視線に対する視線追従動作による共同注視は, 他者の願望を認知するうえで, 他者の注視方向を理解するために人間が幼少期にて獲得する能力である. 他者の視線の向きやその変化への幼児の反応は生後 3 か月の段階で現れる [8]. その後, 生後 12 か月までには視野内の他者の視線については正確な位置を推定できるようになり, 生後 18 か月の段階で自身の視野外の物体に対しても共同注視が行えるようになる [9]. また, 生後 9 か月以後には「自分」「他者」による二項関係ではなく, その他の物体を加えた三項関係を構築し, それを踏まえて幼児は他者が注視先の物体に対して何かしらの願望があることを認知するようになる [7]. ここでの願望の認知を他者と自分で互いに行いその注意を共有すると, 共同注視から発展した「共同注意」と呼ばれる能力の獲得へとつながる [10][11]. 2 人の人間を仮に P1, P2 として, その人物たちの間で視線追従動作による共同注意が発生する場合を考える. P1 がある物体を何かしらの願望によって注視した場合, 前述した共同注視の効果によって P1 の願望を P2 が認知する. 共同注意の場合, これに加えて P2 の注視行為から P1 も P2 の願望を認知し, 結果的に P1 と P2 はそれぞれ相手が自分の願望を認知し合う [6]. これに対して本研究における視線追従動作による共同注視では, RO が LW の願望を認知するかという効果のみに注目している. そのため, 本稿ではこの視線追従動作による共同注視を共同注意とは別の意味として扱っている.

この視線追従動作による共同注視は, 人間のコミュニケーションにおいて他者の視線や頭の方向に反応することで, 意識がない場合でも行われると示されている [12][13]. 加えて, この共同注視による願望の認知は互いの意識を共有することに繋がると示されており [14], こう言った意識の共有はその後の会話を円滑に進める上で有効である [15]. これより, 自律動作によって視線追従による RO と LW の共同注視を行う本研究のアプローチは, コミュニケーションの円滑化による没入感の向上が期待される.

2.2 テレプレゼンスアバターロボットにおける視線制御

視線はコミュニケーションにおいて重要な要素であり, アイコンタクトや視線誘導のような視線制御をテレプレゼンスアバターロボットに組み込む試みは行われている [16][17][18][19]. また, 本研究にて注目している共同注視をロボットに組み込んだ例も存在する. 米澤

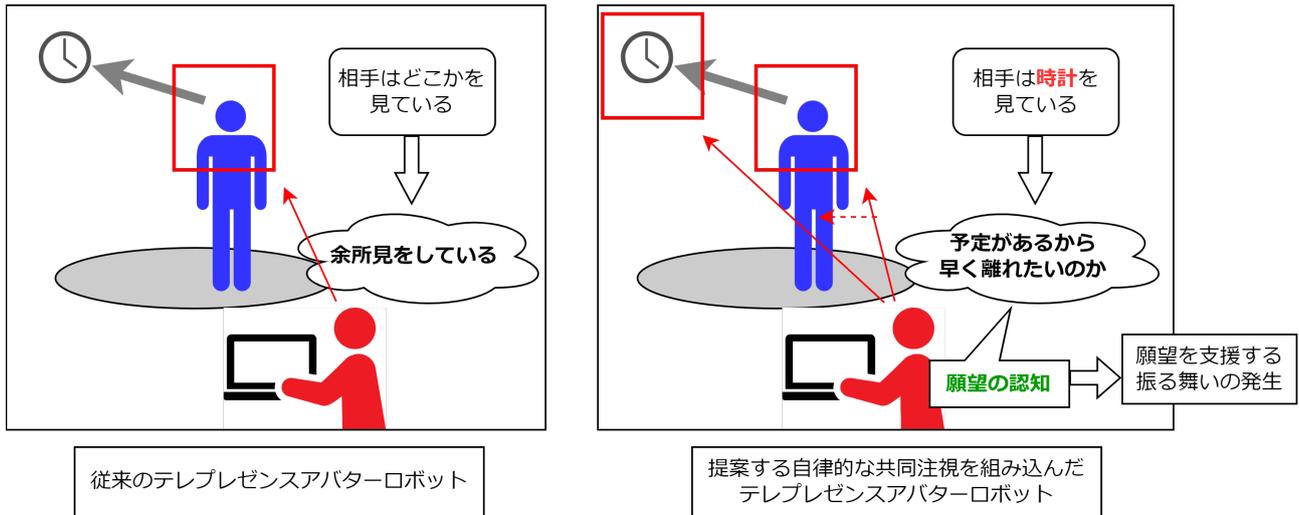


図 2: 提案するアプローチ

ら (2007) の研究では、共同注視を行うぬいぐるみによるコミュニケーションシステムの提案が行われており、共同注視はユーザの無意識的な興味を引き活発な会話を引き起こすことが示されていた [20]. また Huang ら (2011) の研究でも、共同注視を行うことで社会的な相互作用があると認識され、タスクパフォーマンスが向上すると示されていた [21]. これらはどちらも共同注視によって他者の願望が認知されるため、円滑なコミュニケーションの実現へと繋がっている。しかし、その研究の多くが ROR に自律的な動作を行わせることで LW と ROR の共同注視を発生させ、そのうえで LW による願望の認知に注目したものであり、RO による LW の願望の認知に対する影響を検証した研究は無かった。

なお、本稿における「RO による LW の願望の認知」とは、LW が実際にどのような願望を持っているのかを RO が推定するのではなく、「LW が何かしらの願望を持っている」と RO が認知することとして表されている。ここで明確に LW の願望の推定と表さないのは、現段階の本研究ではテレプレゼンスアバターロボットにおける LW と RO の共同注視において、RO の内部状態には注目していないためである。RO が LW との共同注視から LW の願望を認知し、それによって LW の願望を考慮した反応を RO が示すのかという点を検討しており、LW の願望の認知から LW の願望を考慮した反応が現れるまでに RO がその願望の推定をどう行うのか、それとも梶 (2015) の示す自動運動のように RO は経験から無意識的に処理するのか [22]、という RO の思考の遷移については本稿では言及しない。

2.3 自律動作によるアプローチ

従来の研究では、テレプレゼンスアバターロボットにおいてシステムの自律動作を利用したアプローチは、RO の ROR に対する身体所有感や行動主体感を低下させると示されていたため行われてこなかった。Galagher (2000) は、注目している身体が自分自身のものであると感じる感覚を「身体所有感」、運動を引き起こしているのは自分であるという感覚を「運動主体感 (行為主体感)」と定義している [23]. これらが低下した場合、RO は ROR が自分の身体として動かしている感覚が減衰し、システムによる自律的な ROR と LW の共同注視を自分の身体による動作とは認識せず、LW の願望を認知しない可能性が危惧される。

実際に中道ら (2016) は、人間の振る舞いを ROR が自律的に行った場合、RO の意図と ROR の自律動作が衝突することで RO の ROR に対する行動主体感が低下することを示している [24]. しかし奥田ら (2017) の研究では、人間の不随意運動を自律動作として扱った場合は、RO の意図を無視するようなシステムの自律動作が行われたとしても操作不一致による不快感が RO に対して強く発生しなかったことが示されていた [25]. ここでの不随意運動とは人間が意識して行わない振る舞いの事を指しており、つまり RO が本来無意識に行う振る舞いを ROR に自律動作として行わせた場合、RO の意図と ROR による自律動作の衝突は発生せず、RO の ROR に対する身体所有感や行動主体感が減衰しないということを示している。これより、前述した無意識に行われる共同注視をシステムの自律動作とする際には、RO の ROR に対する身体所有感や行動主体感の低下を考慮する必要はないと推察できる。



(a) 実験時の temi



(b) VR マウントディスプレイの映像画面

図 3: 使用機器

3 実装

3.1 使用機器

視線追従動作を実装する ROR としては、第 1 章にて述べた「temi」を採用した。temi は AI 搭載の自律移動型テレプレゼンスアバターロボットである。カメラから目の前の人間を認識して自動で追跡することができ、移動することで AI がマップを作成して指定した箇所に自動で移動することも可能である。活用例としては、オンラインツアーやイベント案内などの場面で使用されている。

本実験では VR マウントディスプレイと 360° カメラを接続し 360° カメラを図 3(a) のように ROR に設置することで、ROR から見える風景を RO は首振りによって観測できるように実装した (図 3(b))。また、ROR の前後左右やその場での回転は Joystick にて行うように実装した。

3.2 実装するシステムの自律動作

実験では、対面における視線追従動作による共同注視と同様の動作を ROR に自律動作として行わせる。そのため、Tomasello(2009) が示した視線追従動作による共同注視の手順を参考にシステムの自律動作を決定する [6]。

仮にそれぞれの人間を P1, P2 としたときに、対面における視線追従動作による共同注視について、以下のようなステップを踏んで行われると推察される。なお、これは P1 を主体とした P2 の視線に対する共同注視である。

(S1) P1 が P2 の顔を目視し、P2 も P1 の顔を確認している (共同注視の開始状態)

(S2) P2 が対象物への注視を開始する

(S3) P1 が P2 の注視方向へ注視を行う (視線追従の発生)

(S4) P1 が P2 の顔を再度確認し、注視の継続を視認する

本研究は LW の視線に対する RO の視線追従に注目しているため、実験では P1 の動作を RO が、P2 の動作を LW が行う必要がある。これらの動作の内、(S1)(S2) の動作については P1 の動作とは大きく関係せずに発生する。なお実験においては、(S1) の動作は RO が LW の顔をカメラ越しに確認し、LW が ROR を RO として視認することで達成した。対して (S3)(S4) の動作は、テレプレゼンスアバターロボットにおいて P1 が意識的に操作する動作であり、(S3) の視線追従については対面において無意識に発生する動作である。そのため、この (S3)(S4) の動作を ROR には自律的に動作させた。これより、本実験での自律動作は以下のような手順で行われた。

(E1) 注視点を定める

(E2) 注視点を向くように VR による映像が移動する。

(E3) (E2) と逆の動作をし、元の視界へ戻る。

(E1) は PC から ROR に注視点とする場所の座標を送る手順である。実験では、自律動作を発生させるタイミングで、実験者が背後の座標 (正面座標から x 軸に 180° 回転させた座標) を ROR へ入力していた。

(E2) は前述したプロセスにおける (S3) の動作を考慮している。(E1) にて取得した注視点の座標を元に、RO の見ている景色を直接動かした。具体的には、注視点の座標が VR における視界の中心に当たるように、景色を出力しているオブジェクトを回転させることで実装した。実験では RO の背後を注視点とし、約 1 秒間かけて (E2) を行ったのちに、3 秒画面の動作を停止させた。これは、振り返った先の視界を RO に認識させるためである。注視点は RO の背後であるため、180° 振り返るように RO の視界を動かしていた。その後、(E3) の視界を戻す際も同様に約 1 秒かけて動作した。

4 実験

本実験は静岡大学倫理審査委員会の審査を通っている。また、本実験参加者には、研究目的、方法、参加は自由意志で拒否による不利益はないこと、及び個人情報保護について、文書と口頭で説明を行い書面にて同意を得た。

4.1 目的

提案するアプローチの有用性を検討するため、22 名の大学生を対象に本実験を実施した。本実験は、シス

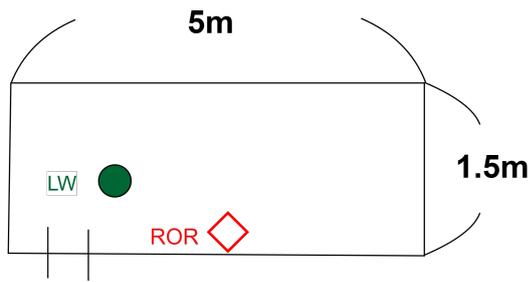


図 4: 実験環境

システムの自律動作による RO と LW の共同注視が、RO による LW の願望の認知に寄与する可能性を検証することが目的である。客観的に観測を行うため、本検証では LW の「ROR の奥に何らかの関与をもとうとしている」という願望を認知することで LW の「ROR の奥へ進行する」という意図を RO が推定し、その進行の邪魔にならないように避ける振る舞いを行うか観測した。また、システムの自律動作による共同注視が、没入感の向上に寄与する可能性についても同時に検証した。RO による LW の願望の認知の発生は後述する視線意図認知課題、没入感の向上については後述する危険反応測定課題を通して検証した。

4.2 実験環境

実験は、ROR と LW のいる空間と、RO が ROR に設置されたカメラ映像を VR マウントディスプレイによって確認することのできる空間にて実施した。ROR と LW のいる空間は 5m × 1.5m の長方形の広さである (図 4)。

4.3 実験条件

実験は以下の 2 条件を要因とした 1 要因被験者間計画で行った。

- (A) 課題中にシステムによる自律動作を発生させる (自律的に視線追従が行われる)
 - (B) 課題中にシステムによる自律動作を発生させない
- 以降、条件 (A) を自律あり動作条件、条件 (B) を自律なし動作条件と呼称する。

4.4 実験方法

実験参加者を RO として、ROR を通して操作を行わせた。本実験にて観測したい対象は RO のみであるため、LW はサクラとした。

本実験は、ROR の操作説明を RO に行ったのちに、視線意図認知課題を 2 回、危険反応測定課題を 1 回行った。視線意図認知課題では、RO が操作する ROR の前に LW を立たせ、LW は ROR の背後へ注視を行う。RO がその注視行為を視認した際に、LW の「ROR の奥に何らかの関与をもとうとしている」という願望を認知したうえで、「ROR の奥へ進行したい」という意図を推定した振る舞いを行うか観測した。危険反応測定課題では、ROR に刃物を近づけることで、本来その場にはいない RO が ROR に対して近づかれた刃物を危険物だと認識し、距離を取るかという点を観測した。課題後には RO に対して表 1 のようなアンケートを実施し、RO の振る舞いの意図や LW の願望を RO が認知したのかについて調査した。

なお、視線意図認知課題を 2 回行ったのは、危険反応測定課題における没入感の向上効果をより顕著に表すためである。ただし、RO による LW の願望の認知が行われると仮定しているため、多く課題を行うと RO が実験を意識する可能性がある。そのため、回数は 2 回に留めている。

4.5 実験課題

本課題では、RO に対して 10 分間の操作練習を行うというカバーストーリーを伝え、後述する課題は 10 分間の操作練習時間にて行った。なお、事前の課題内容説明では RO に対して ROR の操作方法や実験内容の説明を行うが、後述する課題内容や課題の開始については説明していない。

4.5.1 視線意図認知課題

操作練習開始後、ROR の配置している空間に LW となる実験者を入れる。これについて RO には事前に、人が出入りすることがあるが気にせずに操作練習を続けるように指示していた。

LW は空間内を動き回りながら、2 分に 1 回のペースで ROR から約 1m 離れた正面に相対するようにして静止する。その際に、LW は ROR に取り付けられたカメラを 2 秒注視した後に、ROR の背後への注視を開始する。RO の操作する ROR に後述する離れた動作が見られる、またはその動作が見られずに 15 秒が経過するまで、LW には静止し続けさせその間の RO の振る舞いを観測した (図 5)。

LW が ROR の背後へ注視を行った際に、自律あり動作条件の場合のみシステムによる自律動作が行われる。これによって RO が LW の「ROR の奥に関与をもとうとしている」という願望を認知したうえで、「ROR の奥へ進行したい」という意図を推定し、RO 自身が LW

表 1: RO に対するアンケート内容

Q1	課題中目の前で人が立ち止まった際に、どんな動作をしましたか。また、なぜそのような動作をしましたか。
Q2	課題中目の前で人が立ち止まった際に、その対峙者の視線の意図に気づきましたか。気づいたとしたら、どんな意図だったと思いますか。

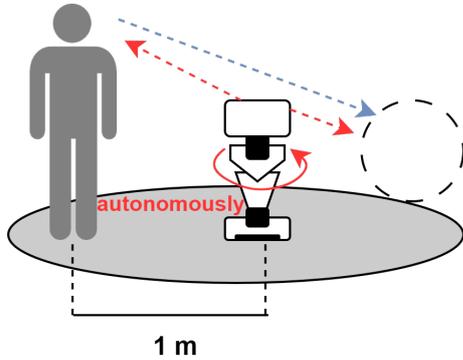


図 5: 視線意図認知課題の内容

の進行の邪魔になっていることに気づいたうえで、道をあけるように ROR が離れる振る舞いを行うと予想される。本課題では LW の注視する方向と LW との間に ROR が存在するため、「ROR の奥に関与をもとうとしている」という LW の願望を認知できた場合、「ROR の奥へ進行したい」という LW の意図を推定する可能性は高いと推察する。なお、発生するシステムによる自律動作は 4.3 節で述べた動作である。

課題中は定点カメラにて撮影を行い、RO の操作する ROR が LW の進行を避けるように左右に移動するか、道をあけるように下がる動きをした場合、これを離れたと判定することとする。この判定は、LW の体よりも左右に移動するか、約 1m 以上下がった場合と定義している (図 6, 図 7(a))。前述した離れた動作が発生せずに 15 秒間が経過した場合、これを離れなかったと判定する (図 7(b))。

4.5.2 危険反応測定課題

RO による LW の願望の認知が行われた際に、LW の願望を認知することで RO の没入感は向上したのか、という点を検証するために危険反応測定課題を行った。この課題は本稿にて提案したシステムによる自律動作が RO による LW の願望の認知を発生させるアプローチが有用であった場合に、RO の没入感における波及効果を考察することを目的として行った。

テレプレゼンスアバターロボットにおける RO の没

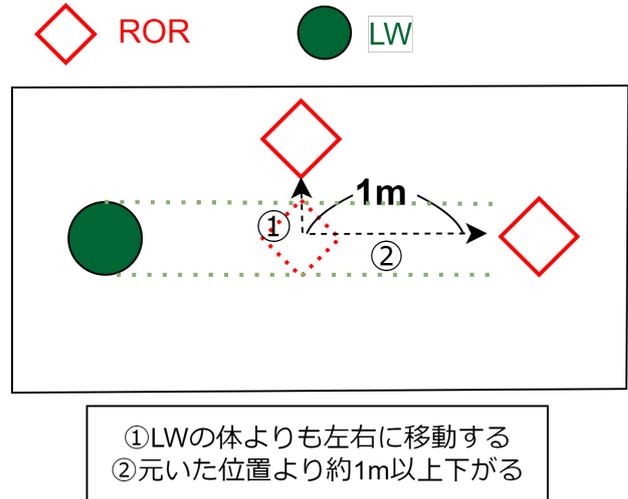


図 6: 離れる振る舞いと判定される条件

入感、RO が遠隔地の ROR を自分の体のように認識する感覚のことであり、身体所有感と運動主体感 (行為主体感) によって得ることができると推測していた [23]。よって没入感の向上を検証するためには、RO の遠隔地に対する身体所有感または行動主体感による RO の行動の変化を観測する必要がある。本課題では特に RO の身体所有感に注目し、遠隔地の ROR に対する危険への反応を以降記述する手順によって観測した。RO は自身の身体である感覚 (没入感) を強く感じていた場合に、危険を避ける振る舞いを行うと予測する。

視線意図認知課題を 2 回行った後に、RO に対して LW が危険性のある物体として刃物を近づけた。これにより、RO のこの危険物に対する反応時間やその後の ROR による振る舞いを観測することで、環境に対する没入感を計測した。ここで危険反応を観測対象としたのは、前述したように没入感における身体所有感に注目したためである。ROR を自身の身体であると認識した場合、ROR に対する危険に対しても RO は反応すると予想する。

視線意図認知課題と同様に操作練習のカバーストーリー中に RO に危険反応測定課題も行わせた。RO の背後に LW は刃物を近づけ (図 8)、RO の VR マウントディスプレイにおける映像に刃物が映ったタイミングで RO の反応時間の計測、および ROR の振る舞い



(a) 離れる振る舞いが行われた様子 (実験)



(b) 離れる振る舞いが行われていない様子 (実験)

図 7: 実験課題中の ROR の挙動



図 8: 危険反応測定課題の RO 視点

の観測を行った。

振る舞いについては、刃物に対して離れる行動をするか、気に留めない行動をするかを観測した。また反応時間の計測では、刃物が映ったタイミングから RO が Joystick の入力を行うまでの時間を反応時間として計測した。

5 実験結果

5.1 結果内容

22名の大学生が、各条件11人ずつ実験に参加した。この際、2回の視線意図認知課題の結果は表2と図9、危険反応測定課題の結果は図10と表3である。

視線意図認知課題は危険反応測定課題においてROの没入感の変化を検証するために、2回行っていた。そのため、ここでの視線意図認知課題における結果は、1回目の課題結果のみを採用している。

危険反応測定課題では、ROの反応時間とRORの振る舞いについて各参加者の結果を表している。反応時間は秒数を記載しており、小数第2位以下を四捨五入、15秒以上経過したものは「15+」と記述したうえで離れなかったと判定している。振る舞いについては、

表 2: 視線意図認知課題の結果

	離れた	離れなかった	総数
自律あり動作条件	13	4	17
自律なし動作条件	7	10	17

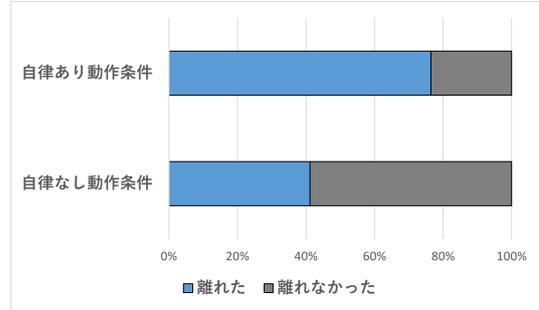


図 9: 視線意図認知課題の結果

ROR が LW の持つ刃物から離れる振る舞いとそうでない(離れなかった)振る舞いを表している、

また視線意図認知課題のデータに対して、システムによる自律動作の有無と ROR の離れる振る舞いに関連があるかを確認するために、フィッシャーの正確確率検定を片側検定で行った。結果、($p = 0.0399$ ($.05 > p$))で有意差が見られた。また、効果量の値については相関関係の一種である Phi の値を参照し、($Phi = 0.7352$)となった。

危険反応測定課題のデータに対しても、システムによる自律動作の有無と反応速度に関連があるか検討するため検定を行った。本実験環境での反応速度は正規分布に従わないため、t検定ではなくマンホイットニーのU検定を採用した。結果は表4のようになり、($p = 0.3850$ $n.s.$ ($p < .10$))となった。

5.2 考察

表2と正確確率検定の結果より、テレプレゼンスアバターロボットにおけるシステムの自律動作がROにRORを通してその場から離れる振る舞いをさせることが分かった。これはシステムによる自律動作がROの行動決定に関与している可能性を示しており、この離れる振る舞いがLWの視線に含まれる意図を認知することでROが行うと想定していた振る舞いであったため、視線追従動作による共同注視によってLWの視線に含まれる意図をROが認知した可能性を示唆するものであった。そのため、本稿にて提案したシステムの自律動作による共同注視のアプローチを支持する結果になったといえる。

また、このRORの振る舞いはROが意識的に行っ

表 3: 危険反応測定課題の結果

	離れた	離れなかった	総数
自律あり動作条件	5	12	17
自律なし動作条件	4	13	17

表 4: マンホイットニーの U 検定結果

	N	Mean	S.D.	U
自律あり動作条件	17	5.21	5.41	189
自律なし動作条件	17	7	4.73	100

ていないことが推察される。アンケートにて今回観測した振る舞いに対して Q1, Q2 を通して「なぜその動作を行ったのか」について RO に質問した (表 1)。その結果、各条件において 1 人ずつが「相手が通りたがっており、自分が邪魔になっていたから」という LW の願望の認知に関わる回答を行った。それ以外の参加者は両条件とも LW の「ROR の奥へ進行する」という意図の推定に関わる回答を行っていなかった。しかし、RO のその場から離れる振る舞いには統計的な有意差が見られたため、離れる振る舞いがシステムによる自律動作から引き起こされたことは確かである。これより、RO は離れる振る舞いを無意識的に行ったのではないかと推察する。意識して離れる振る舞いを行っていないために、振る舞った理由を聞かれた際に離れる振る舞い以外の意識した事柄に注目したか、「特に理由はない」と回答したのだと推察できる。これは、RO の離れる振る舞いの原因である LW の意図の推定や、それを発生させた LW の願望の認知が RO にとって無意識に行われたことを指し、RO の視線追従動作による共同注視も無意識的に行われたことを示唆する。そのため、本来人間が無意識に行う視線追従動作による共同注視を RO に無意識的に行わせたことになり、システムの自律動作による共同注視が対面における共同注視と同様の効果をもたらすとして、本研究で期待された結果が表れた可能性が示唆された。

しかしながら、表 3 を見ると、システムの自律動作による共同注視の発生が RO の没入感の発生に大きく起因している、という結果は得られなかった。これについて、システムの自律動作の回数が 2 回と少なかったため、差が出るほどの没入感を RO が得られていなかったのではないかと予想される。本来であれば第 1 章にて前述したように、自律なし動作条件では視線追従動作による共同注視が行われなため、自律あり動作条件に比べて RO と LW の環境の共有が円滑に行われず、結果として RO の没入感が減衰する。しかし、本実験では同時に視線意図認知課題も行っていたため、システムによる自律動作を何度も発生させると RO による LW の願望の認知に影響を及ぼす危険性があった。こ

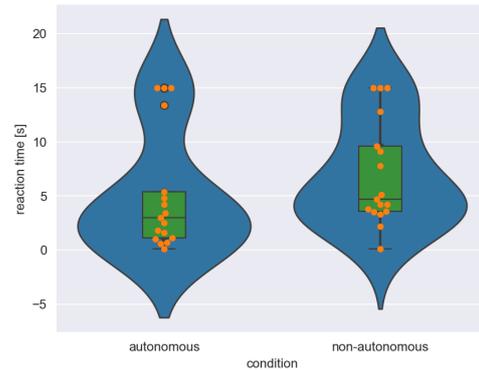


図 10: 危険反応測定課題における反応時間

のことから回数を 2 回に留めたのだが、この点が結果が大きく表れなかった要因であると推測される。

ただし、図 10 における RO の反応時間については各条件にて比較すると、変化が表れている。図 10 は LW が RO に刃物を近づけた際の RO の反応時間をヴァイオリンプロット、箱ひげ図によって表した図である。なお、15 秒以上経過したものを、ここでは 15 秒として表している。これを見ると、自律あり動作条件における RO の反応時間が、自律なし動作条件よりも全体的に短いことが分かる。これは 4.5.2 項にて期待していた結果であり、システムの自律動作によって RO の遠隔地への没入感が増したために、RO の反応時間が短くなった可能性を示唆している。

しかしながら、RO による RO の離れる振る舞いや RO の反応時間について、実験条件間にて統計的な差はみられなかった。これについてはデータの少なさが問題点として挙げられるため、データを集めて慎重に検討する必要がある。

6 まとめ

本研究では、テレプレゼンスアバターロボットに視線追従動作による共同注視を自律動作としてシステムに動作させる手法について検討した。システムに自律的な共同注視を行わせた場合でも、対面と同様に RO が LW の願望を認知できるのであれば、RO と LW のコミュニケーションを円滑に進めることで RO の遠隔地に対する没入感を高めることが可能となる。実験より、システムの自律動作の有無が RO のその場から離れる振る舞いの発生に影響を与えた可能性が示唆され、システムの自律動作による共同注視が RO に LW の願望を認知を行わしている可能性を示す結果となった。また、危険反応についても RO の ROR に対する危険物

への反応速度がシステムの自律動作によって向上した可能性も示され、これは没入感の向上を示唆する結果であった。本実験では主に振る舞いのみ注目して観測を行ったが、自律動作を加えるだけで振る舞いに変化したことはROの行動決定に影響を与えたことを示唆する。今後はその振る舞いをより詳細に分析することでROの行動決定にどのように影響を与えたのかについても検討する予定である。

第1章に記述したように、共同注視を通じたROによるLWの願望の認知はROとLWの情報を共有することに繋がり、これはコミュニケーションを円滑にし、ROの没入感を向上させることが期待される。本稿で提案するアプローチは従来とは異なり、ROの没入感の生成にROの意識的な操作を必要としない。嶋田ら(2009)が示していたように、操作の反映に遅延が200ms以上であると秒数に応じてROのRORに対する身体所有感が失われる[26]。しかし本研究のアプローチは、従来のアプローチで懸念されていた情報伝達の遅延や動作可能箇所の不足などの問題は発生しないため、ROは操作するというROの意識を排除した直接的なRORに対する操作主体感や身体所有感が得られると推察される。加えて、本研究のアプローチではROの無意識動作をROの意識的な操作なしで発生させている。これは対面状況での会話における人間の振る舞いを再現するものである。この観点においても、本研究のアプローチは遠隔地間対話における没入感の向上に貢献することが期待される。

また、ROによるLWの願望の認知は、ROの没入感の向上だけでなくROとLWの共同作業効率やROのLWに対する印象の向上にも波及することが期待される。2.1項で記述したように、共同注視による他者の願望の認知は他者との意識の共有に繋がることが示されている[14]。これより遠隔地間の共同注視でもこの意識の共有が行われると推察される。この意識の共有は、遠隔授業やオンライン会議などのLWとROが共同で作業する状況において、LWの注意対象をROが共有することで共同作業の効率を向上させる効果が期待される。加えて、共同注視には相手の印象を向上させ活発な会話を引き起こす効果も示されていた[20][21]。これにより、介護現場や医療現場のような遠隔地の人間との関係性の構築が重要となる状況において、互いの印象を向上させることでコミュニケーションにおける信頼の構築を支援する可能性も期待される。

参考文献

- [1] Marvin Minsky. Telepresence. *OMNImagazine*, 1980.
- [2] Susumu Tachi, Kazuo Tanie, Kiyoshi Komoriya, and Makoto Kaneko. Tele-existence (i): Design and evaluation of a visual display with sensation of presence. In *Theory and Practice of Robots and Manipulators: Proceedings of RoManSy'84: The Fifth CISM-IFTToMM Symposium*, pp. 245–254, 1985.
- [3] Christian Heath and Paul Luff. Disembodied conduct: Communication through video in a multi-media office environment. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 99–103, 1991.
- [4] Jens Edlund, Samer Al Moubayed, and Jonas Beskow. The mona lisa gaze effect as an objective metric for perceived cospatiality. In *Intelligent Virtual Agents: 10th International Conference, IVA 2011, Reykjavik, Iceland, September 15-17, 2011. Proceedings 11*, pp. 439–440. Springer, 2011.
- [5] Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi. Telesar v: Telexistence surrogate anthropomorphic robot. In *ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies*, pp. 1–1. 2012.
- [6] Michael Tomasello. *The cultural origins of human cognition*. Harvard university press, 2009.
- [7] Henry M Wellman, David Cross, and Julianne Watson. Meta-analysis of theory-of-mind development: The truth about false belief. *Child development*, Vol. 72, No. 3, pp. 655–684, 2001.
- [8] Sylvia MJ Hains and Darwin W Muir. Infant sensitivity to adult eye direction. *Child development*, Vol. 67, No. 5, pp. 1940–1951, 1996.
- [9] George Butterworth and Nicholas Jarrett. What minds have in common is space: Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy. *British journal of developmental psychology*, Vol. 9, No. 1, pp. 55–72, 1991.
- [10] Frederic Kaplan and Verena V Hafner. The challenges of joint attention. *Interaction Studies*, Vol. 7, No. 2, pp. 135–169, 2006.
- [11] 常田美穂, 陳省仁. 乳児と共同注意行動の発達に寄与する養育者の行動特徴: モノから相手への注意のシフトをもたらす養育者の発話と行動に焦点を

- 当てて. 北海道大学大学院教育学研究院紀要, Vol. 106, pp. 135–147, 2008.
- [12] Wataru Sato, Takashi Okada, and Motomi Toichi. Attentional shift by gaze is triggered without awareness. *Experimental Brain Research*, Vol. 183, pp. 87–94, 2007.
- [13] Manon Mulckhuysen and Jan Theeuwes. Unconscious attentional orienting to exogenous cues: A review of the literature. *Acta psychologica*, Vol. 134, No. 3, pp. 299–309, 2010.
- [14] Malinda Carpenter and Kristin Liebal. Joint attention, communication, and knowing together in infancy. *Joint attention: New developments in psychology, philosophy of mind, and social neuroscience*, pp. 159–181, 2011.
- [15] 西田豊明. 社会技術を支える先進的コミュニケーション基盤としての会話型知識プロセス支援技術. 社会技術研究論文集, Vol. 1, pp. 48–58, 2003.
- [16] Guangtao Zhang, John Paulin Hansen, and Katsumi Minakata. Hand-and gaze-control of telepresence robots. In *Proceedings of the 11th acm symposium on eye tracking research & applications*, pp. 1–8, 2019.
- [17] Hideaki Kuzuoka, Yuki Kodama, Jianfeng Xu, Emi Myodo, Etsuko Harada, and Hirotaka Osawa. Telepresence robot’s salutations to trigger informal conversation with teleworkers. In *Companion of the 2018 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing, CSCW ’18 Companion*, pp. 233–236. Association for Computing Machinery, 2018.
- [18] Akira Matsuda and Jun Rekimoto. Scalable-body: A telepresence robot supporting socially acceptable interactions and human augmentation through vertical actuation. In *Adjunct Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 103–105, 2016.
- [19] Sigurdur Orn Adalgeirsson and Cynthia Breazeal. Mebot: A robotic platform for socially embodied telepresence. In *2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 15–22. IEEE, 2010.
- [20] Tomoko Yonezawa, Hirotake Yamazoe, Akira Utsumi, and Shinji Abe. Gaze-communicative behavior of stuffed-toy robot with joint attention and eye contact based on ambient gaze-tracking. In *Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces*, pp. 140–145, 2007.
- [21] Chien Ming Huang and Andrea L Thomaz. Effects of responding to, initiating and ensuring joint attention in human-robot interaction. In *2011 Ro-Man*, pp. 65–71. IEEE, 2011.
- [22] 梶龍兒. 不随意運動の診かた. 臨床神経生理学, Vol. 43, No. 4, pp. 122–141, 2015.
- [23] Shaun Gallagher. Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–21, 2000.
- [24] 中道大介, 西尾修一. 遠隔操作型コミュニケーションロボットにおける頷き動作の半自律化による操作主体感への影響. 人工知能学会論文誌, Vol. 31, No. 2, pp. H-F81.1, 2016.
- [25] 奥岡耕平, 大澤正彦, 滝本佑介, 今井倫太. 半自律テレプレゼンスロボットによる自律化が与える遠隔操作者への影響調査. 人工知能学会第二種研究会資料, Vol. 2017, No. AGI-006, p. 08, 2017.
- [26] Sotaro Shimada, Kensuke Fukuda, and Kazuo Hiraki. Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PloS one*, Vol. 4, No. 7, p. e6185, 2009.